

沿道における二酸化窒素濃度の予測に用いる年間 98 % 値等の換算式

Model for Estimating Annual 98th Percentiles of Daily Mean Nitrogen Dioxide Concentrations
from Annual Mean Concentrations near Highways.

大城 温*

大西博文*

山田俊哉*

小根山裕之**

三神泰介***

Nodoka OSHIRO*, Hirofumi OHNISHI*, Toshiya YAMADA*, Hiroyuki ONEYAMA** and Taisuke MIKAMI***

ABSTRACT: This paper focuses on the method of estimating the annual 98th percentiles of daily mean nitrogen dioxide (NO_2) concentrations from the annual mean concentrations, as an index of environmental quality standard. In the past, the linear regression model based on old observed data has been used as a model for estimating the annual 98th percentiles of daily mean concentrations. But, it is pointed out that the model does not take into consideration characteristics of observing areas. We propose herein the modified model, which includes the exponential function of ratio of NO_2 concentrations originated from highways and NO_2 background concentrations as the regression parameter. Values estimated by the modified model are almost same as the observed values, and this shows modified model is more accurate than the present one.

KEYWORDS: Air Pollution, Daily Mean Concentrations, Annual Mean Concentrations,
Annual 98th Percentiles, Regression Model

1. はじめに

幹線沿道における大気汚染物質濃度の予測を行う際に、ブルーム式及びパフ式による大気拡散式を用いて年平均値を算出することが一般的に行われている。この予測値が環境基準を達成するか評価するためには、環境基準が日平均値で示されていることから、年平均値を日平均値に換算する必要がある。

この日平均値に相当する値として、二酸化窒素(NO_2)の場合には日平均値の年間 98% 値を用いて換算する手法が使われている。現在一般的に使われている NO_2 濃度の年平均値を年間 98% 値に換算する式（以下、年間 98% 値換算式）は、全国の観測データを用いて一律に設定しており、道路による NO_2 濃度寄与の割合などの地域特性が考慮されていないことなどから、改良の余地がある。

また、浮遊粒子状物質(SPM)や一酸化炭素(CO)、二酸化硫黄(SO_2)の場合についても、 NO_2 の場合と同様の考え方で、年平均値を日平均値の年間 2% 除外値を用いて換算する式（以下、年間 2% 除外値換算式）を設定する必要があると考える。

そこで本稿では、従来の換算式において、地域特性を考慮できるように見直し、また式のパラメータ設定の基礎となる最新の大気汚染物質濃度の常時観測データを用いることにより設定した、新しい NO_2 濃度の年間 98% 値換算式および SPM、CO、 SO_2 の年間 2% 除外値換算式を提案する。

*建設省土木研究所

Public Works Research Institute, Ministry of Construction

**東京大学生産技術研究所

Institute of Industry Science, University of Tokyo

***(株)環境技術研究所

Environmental Technical Laboratory, Ltd.

2. 従来の年間 98%値換算式とその課題

沿道における NO₂ の予測・評価の一般的な流れを図-1に示す。自動車から排出される NO_x をブルーム式・パフ式の大気拡散式により計算し、NO_x の道路寄与濃度の年平均値を予測した後、NO₂ 濃度の年平均値に変換する。これに NO₂ のバックグラウンド（以下「BG」という）濃度を加算し、換算式を用いて年間 98%値に換算して評価する。SPM、CO、SO₂ は年平均値をそのまま年間 2%除外値に換算して評価する。

従来一般的に用いられてきた年間 98%値換算式では、NO₂ 濃度の年平均値と年間 98%値の間に比例関係があることから、単相関分析により得られた直線回帰式 $Y=aX+b$ を換算式として用いている。1977 年～1985 年（9 年間）の全国の自動車排出ガス測定局（以下「自排局」）の常時観測データに基づいて設定した従来の換算式が、(1)式である。

$$Y=1.48X+0.0064 \qquad \cdots(1)$$

ただし、Y：NO₂濃度の年間 98%値(ppm)
X：NO₂濃度の年平均値(ppm)

最新の自排局データ（1987 年～1996 年）に基づき地域別に回帰分析を行い、年間 98%値換算式を求めた。その結果、地域差が認められ、大都市を抱える関東・中部・近畿地方では回帰係数が大きく、その他の地方では概ね小さいという傾向があった（表-1）。このような地域差を考慮した換算式の設定が課題として挙げられる。

3. 式形の検討

1) 観測データに基づく考察

図-2～4は1987年～1996年（10年間）の全国の一般環境大気測定局（以下「一般局」）と自排局の常時観測データ及び道路寄与分におけるNO₂濃度の年平均値と年間98%値の関係を示したものである。なお、「道路寄与分」とは、自排局データからその自排局と同一市町村内にある一般局データの平均値を差し引いた濃度と定義している。

これらの図から分かることは、自排局より一般局の回帰係数が大きいことである。また道路寄与分の回帰係数が最も小さい。すなわち、自排局では年平均値に対する年間98%値の比率が小さい。この傾向はSPM、CO、SO₂においても同様である。

一般に大気質の濃度は、排出源からの排出による変動と気象条件の変動を受け、時々刻々変化している。一般局では主な排出源から遠方にあり、観測されたデータはこれらの変動の影響を強く受けていると考えら

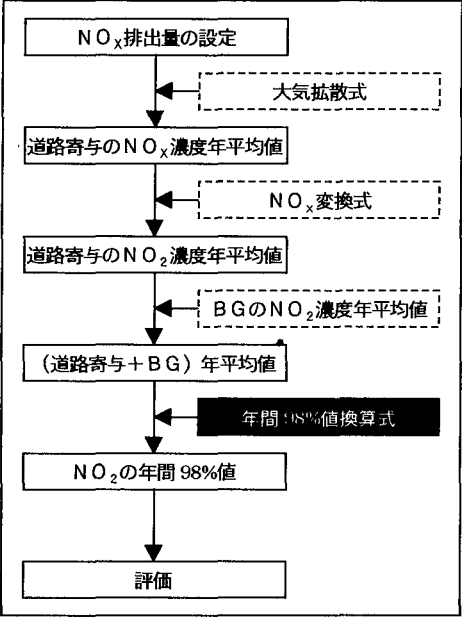


図-1 NO₂濃度の予測・評価の流れ

表-1 地域別の年間 98%値換算式（従来式）

地域	換算式
北海道	$Y=1.23X+0.0150$
東北	$Y=1.18X+0.0117$
関東	$Y=1.42X+0.0105$
北陸	$Y=1.08X+0.0141$
中部	$Y=1.39X+0.0075$
近畿	$Y=1.34X+0.0118$
中国四国	$Y=1.24X+0.0101$
九州沖縄	$Y=1.25X+0.0099$

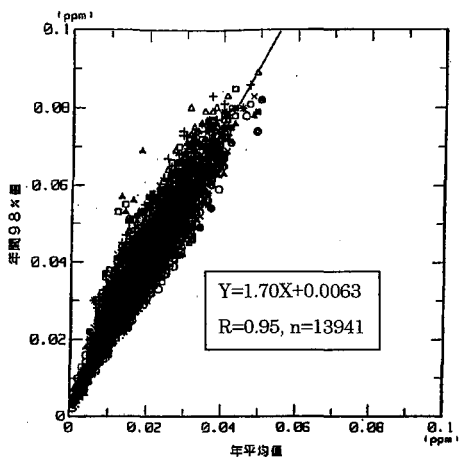


図-2 一般局の NO_2 年平均値と年間 98% 値の関係

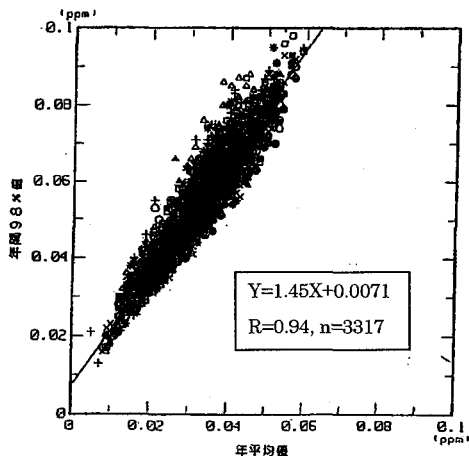


図-3 自排局の NO_2 年平均値と年間 98% 値の関係

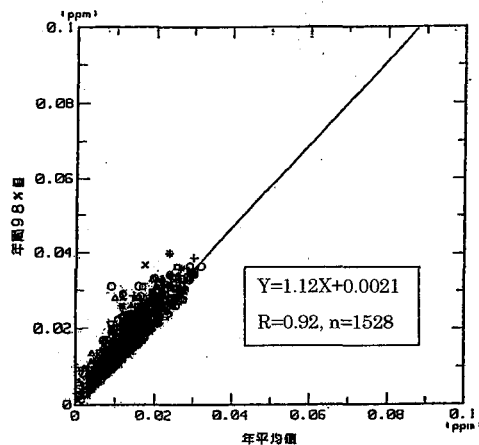


図-4 道路寄与分 NO_2 年平均値と年間 98% 値の関係

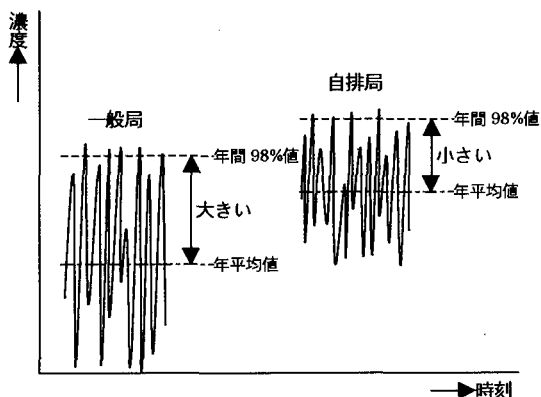


図-5 一般局と自排局における濃度変動の模式図

れる。一方、自排局は NO_2 、SPM、CO、 SO_2 などの大気汚染物質の排出源である道路沿道に設置されていることから濃度は高く、発生源に近いことから一般環境に比べてこれらの変動の影響は小さい（図-5）。一般局と自排局の回帰係数の違いは、このような状況から生じているものと考ええる。

2) 式形の検討

前述の大気汚染物質濃度の年平均値と年間98%値の関数に関する一般局と自排局の違いを換算式に反映させるため、式形の検討を浮遊粒子状物質（SPM）を対象として行った。

常時観測データに基づく考察から、対象道路以外を発生源とするBG濃度寄与が主である場合には一般局の回帰式に近く、発生源の濃度寄与が主である場合には自排局回帰式に近くなると考えた。そこで、「道路寄与分とバックグラウンドの比」（以下「道路寄与比」）の大きさ0.1ごとにSPMの観測データを分類し、それぞれに回帰分析により換算式を求めることにより、道路寄与比によって換算式の回帰係数がどのように変化するかを検討した。その結果、道路寄与比が小さいほど一般局の回帰係数に近づき、反対に道路寄与比が大きいほど道路寄与分の回帰係数に近づくことがわかった（図-6）。

この結果を受けて、道路寄与比を換算式に反映させるため、換算式の式形は従来の換算式「 $Y = aX + b$ 」を基本とし、回帰パラメータ a 、 b を

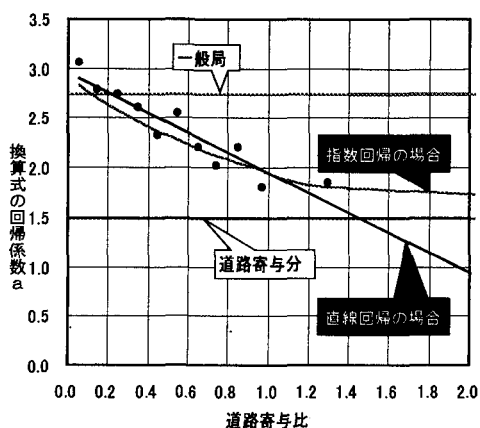


図-6 道路寄与比と回帰係数の関係

注) 図中の点は、道路寄与比 0.1 毎に SPM の観測データを分類し、回帰分析により求めた場合の換算式の回帰係数 a である。

ここで、一般局の回帰式を $Y = AX + B$ とし、道路寄与分の回帰式を $Y = \alpha X + \beta$ とする。道路寄与比が 0 (道路寄与が 0%) のとき、 $a = A$ 、 $b = B$ になり、道路寄与比が ∞ (道路寄与が 100%) のとき、 $a = \alpha$ 、 $b = \beta$ になるように(3)式を変形すると、下記の(4)式となる。

$$\left. \begin{aligned} a &= \alpha + (A - \alpha) \exp(-Z) \\ b &= \beta + (B - \beta) \exp(-Z) \end{aligned} \right\} \dots\dots(4)$$

(4)式により求まるパラメータ a 、 b を換算式(2)に代入することにより、道路寄与の割合に応じた換算が一つの式で行えることになる。地域特性の主な要因が BG 濃度に対する道路寄与の濃度の割合だとすれば、(2)式および(4)式で表される式は地域特性を考慮した換算式と言える。

1987 年～1996 年 (10 年間) の全国的一般局及び自排局の常時観測データを用いて、 NO_2 の年間 98% 値換算式及び SPM、CO、 SO_2 の年間 2% 除外値の新しい換算式のパラメータを求めると、表-2 のとおりとなる。

表-2 新しい年間 98% 値および年間 2% 除外値換算式

項 目	換 算 式
二酸化窒素 (NO_2)	[年間 98% 値] $= a[\text{年平均値}] + b$ $a = 1.12 + 0.58 \cdot \exp(-[\text{NO}_2]_R / [\text{NO}_2]_{BG})$ $b = 0.0112 - 0.0049 \cdot \exp(-[\text{NO}_2]_R / [\text{NO}_2]_{BG})$
浮遊粒子状物質 (SPM)	[年間 2% 除外値] $= a[\text{年平均値}] + b$ $a = 1.87 + 0.86 \cdot \exp(-[\text{SPM}]_R / [\text{SPM}]_{BG})$ $b = 0.0081 - 0.0174 \cdot \exp(-[\text{SPM}]_R / [\text{SPM}]_{BG})$
一酸化炭素 (CO)	[年間 2% 除外値] $= a[\text{年平均値}] + b$ ただし、 $a = 1.65 + 0.73 \cdot \exp(-[\text{CO}]_R / [\text{CO}]_{BG})$ $b = 0.01 - 0.07 \cdot \exp(-[\text{CO}]_R / [\text{CO}]_{BG})$
二酸化硫黄 (SO_2)	[年間 2% 除外値] $= a[\text{年平均値}] + b$ ただし、 $a = 1.71 + 0.32 \cdot \exp(-[\text{SO}_2]_R / [\text{SO}_2]_{BG})$ $b = 0.0011 - 0.0005 \cdot \exp(-[\text{SO}_2]_R / [\text{SO}_2]_{BG})$

注) $[M]_R$ は道路寄与濃度、 $[M]_{BG}$ は BG 濃度、[年平均値] $= [M]_R + [M]_{BG}$

道路寄与比の関数として与えることとした。

回帰係数 a の関数形としては、まず最も単純な直線回帰が考えられるが、定数項を一般局の回帰係数とすると、道路寄与比が大きい場合、道路寄与分の回帰係数よりも小さくなることになり、実際の現象に合わなくなる。道路寄与比が無限大になると道路寄与分の回帰係数に近づく関数は幾つか考えられるが、最も簡単な関数は指数関数である。そこで下記の式形を考える。

$$Y = aX + b \dots\dots(2)$$

ここで、 $a = \gamma \exp(-Z)$

$$b = \delta \exp(-Z) \dots\dots(3)$$

ただし、 X : 年平均値

Y : 年間 98% 値又は年間 2% 除外値

Z : 道路寄与比 $=$ 道路寄与分 / BG

γ 、 δ : 係数

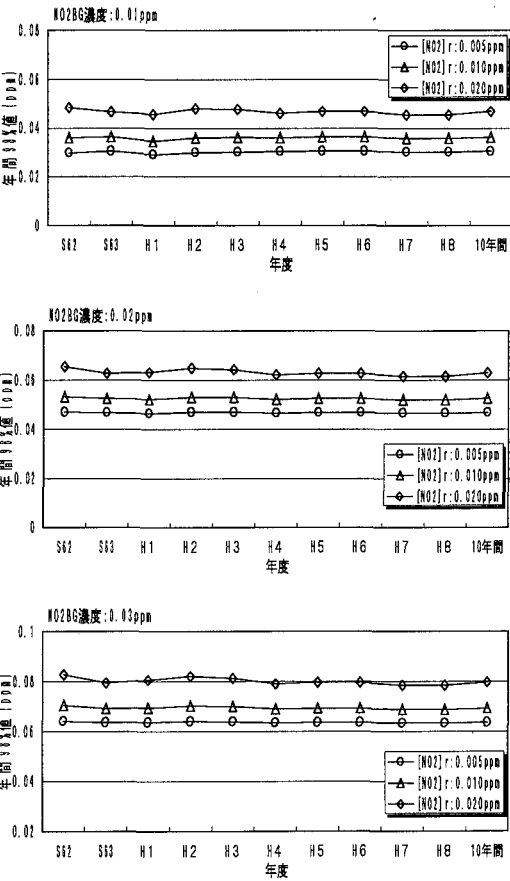
4. 整合性の検討

新しい換算式が、従来の換算式より精度が向上したことを確認するため、1987年～1996年（10年間）の全国の一般局及び自排局の常時観測データを用いて、従来の換算式の計算値および新しい換算式の計算値と実測値との整合性の検討を行った。検討対象とした大気汚染物質はNO₂及びSPMの2種類とした。これらの検討結果は表－3のとおりである。新しい換算式は、従来式と比較して相関係数が向上する一方、標準誤差が減少していることから、精度が向上しているといえる。

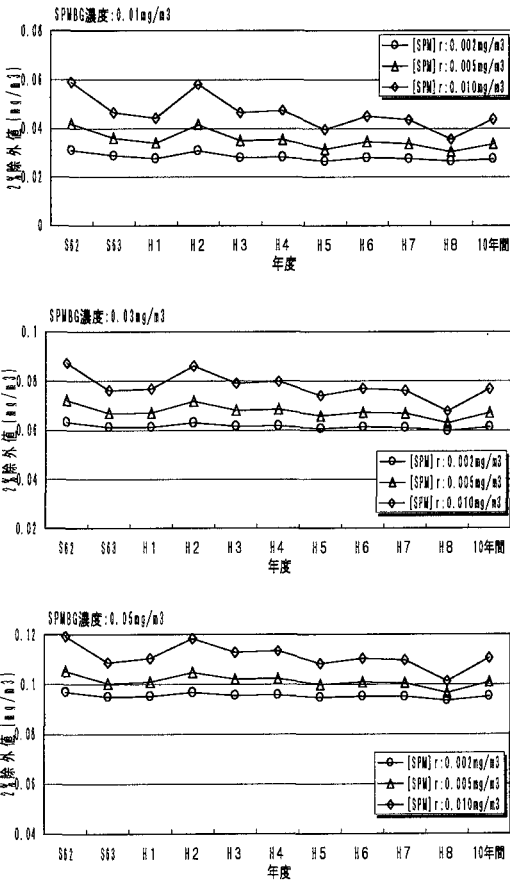
表－3 従来式と新換算式の実測値との整合性

項目	式形	回帰式	相関係数	標準誤差
NO ₂	従来式	$y=1.007x+0.0004$	0.93	0.0051
	新換算式	$y=0.993x+0.0003$	0.95	0.0043
SPM	従来式	$y=1.01x+0.0028$	0.89	0.0163
	新換算式	$y=1.03x+0.0033$	0.91	0.0148

注) ここで、x：計算値、y：実測値



図－7 年度別のNO₂年間98%換算値の試算結果



図－8 年度別のSPM2%除外値換算値の試算結果

5. 新換算式のパラメータの変動

新しい換算式は、1987年～1996年の10年間にわたる全国の一般局及び自排局観測データを用いて設定したため、換算式のパラメータは10年間の平均値となっている。そこで、経年的に精度が大きく悪化しないことを確認するため、この10年間で年ごとに予測値が大きく変動しないかどうか、 NO_2 及びSPMを対象に検討を行った。

バックグラウンド濃度の年平均値は NO_2 については0.01、0.02、0.03ppm、SPMについては0.01、0.03、0.05 mg/m^3 に設定し、道路寄与濃度の年平均値は NO_2 については0.005、0.01、0.02ppm、SPMについては0.002、0.005、0.01 mg/m^3 に設定して試算を行った。

その結果、いずれも換算式の回帰係数は年度によってある程度の変化はみられるものの、試算結果はほぼ横ばい傾向にあり、大きな経年変化は認められなかった（図－7、図－8）。

6. おわりに

本稿では、地域特性を考慮した大気質濃度の年間98%値及び年間2%除外値換算式について検討を行った。一般局及び自排局の実測データの分析から、自排局の回帰式の回帰係数が一般局の回帰係数と比較して小さい理由は、自排局が排出源である道路に近接しているためであることが示唆された。この分析結果から、道路から排出される大気汚染物質の寄与の程度を表す変数を換算式に取り込むことにより、地域特性を反映した換算式を設定できると考えた。

この考え方にに基づき式形を検討し、従来の回帰式 $Y = aX + b$ の回帰係数 a 、 b を道路寄与比の指数関数で表すことにより、道路寄与の大きい場合には自排局のデータに基づく回帰式、道路寄与の小さい場合には一般局のデータに基づく回帰式に近くなるような新しい換算式を設定した。実測値との整合性を検討した結果、この新しい換算式では従来の換算式に比べ精度が向上していることが確認された。また、経年的に予測値の精度が大きく変動しないことも確認された。

例えば自動車排ガス規制の一層の強化等により道路寄与分が減少し、それに伴い道路沿道の大気汚染物質濃度が減少した場合、道路寄与比が小さくなる。この場合、従来式を適用すると道路寄与比が小さくなっても本来大きくなるべき換算式の回帰係数 a は変わらないため、換算値が過小評価になると考えられる。しかし、新しい換算式では道路寄与の割合により回帰係数 a が決まるため、このような問題点も解決されると考える。

参考文献

- 1) 社団法人日本道路協会：「道路環境整備マニュアル」, p31-86, 1989.